



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2019-0064271
(43) 공개일자 2019년06월10일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
H04L 27/26 (2006.01) H04L 25/03 (2006.01)
(52) CPC특허분류
H04L 27/2663 (2013.01)
H04L 25/03968 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2017-0163694
(22) 출원일자 2017년11월30일
심사청구일자 2017년11월30일

(71) 출원인
울산과학기술원
울산광역시 울주군 언양읍 유니스트길 50
(72) 발명자
양현중
울산광역시 울주군 언양읍 유니스트길 50
김영준
울산광역시 울주군 언양읍 유니스트길 50
(74) 대리인
리엔목특허법인

전체 청구항 수 : 총 7 항

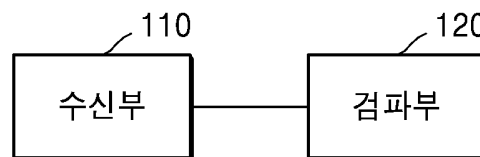
(54) 발명의 명칭 GFDM 통신 시스템, 방법 및 컴퓨터 판독 가능한 기록매체

(57) 요약

GFDM 통신 시스템, 방법 및 컴퓨터 판독 가능한 기록매체가 개시된다. 본 발명의 일 실시예에 따른 GFDM 통신 시스템은, GFDM 신호를 수신하는 수신부 및 수신된 상기 GFDM 신호, 이와 인접한 GFDM 신호 사이의 동기 시간 차이에 대한 평균이 적용된 MMSE 필터를 포함하는 검파부를 포함하고, 상기 검파부는 수신된 상기 GFDM 신호에 상기 MMSE 필터를 적용하여 상기 GFDM 신호를 검파한다.

대표도 - 도1

100



(52) CPC특허분류

H04L 27/2691 (2013.01)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호 1711056597

부처명 과학기술정보통신부

연구관리전문기관 정보통신기술진흥센터

연구사업명 방송통신산업기술개발

연구과제명 5G 실감형 서비스를 실현하기 위한 초저지연 네트워크 기술 연구

기 여 율 1/1

주관기관 울산과학기술원

연구기간 2017.03.01 ~ 2017.12.31

명세서

청구범위

청구항 1

GFDm 신호를 수신하는 수신부; 및

수신된 상기 GFDm 신호, 이와 인접한 GFDm 신호 사이의 동기 시간 차이에 대한 평균이 적용된 MMSE 필터를 포함하는 검파부;

를 포함하고,

상기 검파부는 수신된 상기 GFDm 신호에 상기 MMSE 필터를 적용하여 상기 GFDm 신호를 검파하는 GFDm 통신 시스템.

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 MMSE 필터는,

수신된 상기 GFDm 신호에 대한 간섭신호의 자기상관의 평균, 및 수신된 상기 GFDm 신호에 대한 상호상관의 곱으로 정의되는 GFDm 통신 시스템.

청구항 3

제2항에 있어서,

상기 자기상관의 평균은,

검파하는 시간에 대응하여 선택되는 상기 수신된 GFDm 신호, 수신된 상기 GFDm 신호에 대응하는 GFDm 송신신호의 자기상관에 대한 평균으로부터 산출되는 GFDm 통신 시스템.

청구항 4

GFDm 신호를 수신하는 단계;

수신된 상기 GFDm 신호, 이와 인접한 GFDm 신호 사이의 동기 시간 차이에 대한 평균이 적용된 MMSE 필터를 설계하는 단계; 및

수신된 상기 GFDm 신호에 상기 MMSE 필터를 적용하여 상기 GFDm 신호를 검파하는 단계;

를 포함하는 GFDm 통신 방법.

청구항 5

제4항에 있어서,

상기 MMSE 필터를 설계하는 단계는,

수신된 상기 GFDm 신호에 대한 간섭신호의 자기상관의 평균을 산출하는 단계; 및

수신된 상기 GFDm 신호에 대한 상호상관을 산출하는 단계;

를 포함하는 GFDm 통신 방법.

청구항 6

제5항에 있어서,

상기 자기상관의 평균을 산출하는 단계에서는,

수신된 상기 GFDm 신호를 검파하는 시간에 대응하여 선택하고, 수신된 상기 GFDm 신호에 대응하는 GFDm 송신신

호의 자기상관에 대해 평균을 산출하는 GFDM 통신 방법.

청구항 7

제4항 내지 제6항 중 어느 한 항에 따른 방법을 수행하기 위한 프로그램이 기록된 컴퓨터 판독 가능한 기록매체.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 GFDM 통신 시스템, 방법 및 컴퓨터 판독 가능한 기록매체에 관한 것으로, 보다 구체적으로는 비동기 신호를 이용한 통신 방법에 있어서 간섭으로 인한 영향을 줄이기 위해 MMSE 필터를 사용하는 GFDM 통신 시스템, 방법 및 컴퓨터 판독 가능한 기록매체에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 종래의 OFDM 을 이용한 동기식 통신은 동기를 맞춰야 하기 때문에 지연시간을 줄이는데 한계가 존재한다. 또한, 동기가 조금이라도 어긋나게 되면 인접한 주파수를 사용하는 사용자로부터 간섭이 발생하게 된다. 또한, 종래의 비동기식 통신은 동기가 일치하지 않기 때문에 인접한 주파수를 사용하는 사용자의 신호가 원하는 신호에 간섭으로 들어오게 된다.

[0003] 4G 환경 이후의 5G 통신에 있어서는, 지연시간을 줄이면서 Data rate 손해를 줄이는 통신 방법 개발이 필요하게 되었다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0004] 본 발명은 비동기식 통신에 있어서, 간섭으로 인한 영향을 줄일 수 있는 GFDM 통신 시스템, 방법 및 컴퓨터 판독 가능한 기록매체를 제공하는 것을 목적으로 한다.

과제의 해결 수단

[0005] 본 발명의 일 실시예에 따른 GFDM 통신 시스템은, GFDM 신호를 수신하는 수신부 및 수신된 상기 GFDM 신호, 이와 인접한 GFDM 신호 사이의 동기 시간 차이에 대한 평균이 적용된 MMSE 필터를 포함하는 검파부를 포함하고, 상기 검파부는 수신된 상기 GFDM 신호에 상기 MMSE 필터를 적용하여 상기 GFDM 신호를 검파한다.

[0006] 또한, 상기 MMSE 필터는, 수신된 상기 GFDM 신호에 대한 간섭신호의 자기상관의 평균, 및 수신된 상기 GFDM 신호에 대한 상호상관의 곱으로 정의될 수 있다.

[0007] 또한, 상기 자기상관의 평균은, 검파하는 시간에 대응하여 선택되는 상기 수신된 GFDM 신호, 수신된 상기 GFDM 신호에 대응하는 GFDM 송신신호의 자기상관에 대한 평균으로부터 산출될 수 있다.

[0008] 한편, 본 발명의 일 실시예에 따른 GFDM 통신 방법은, GFDM 신호를 수신하는 단계, 수신된 상기 GFDM 신호, 이와 인접한 GFDM 신호 사이의 동기 시간 차이에 대한 평균이 적용된 MMSE 필터를 설계하는 단계 및 수신된 상기 GFDM 신호에 상기 MMSE 필터를 적용하여 상기 GFDM 신호를 검파하는 단계를 포함한다.

[0009] 또한, 상기 MMSE 필터를 설계하는 단계는, 수신된 상기 GFDM 신호에 대한 간섭신호의 자기상관의 평균을 산출하는 단계 및 수신된 상기 GFDM 신호에 대한 상호상관을 산출하는 단계를 포함할 수 있다.

[0010] 또한, 상기 자기상관의 평균을 산출하는 단계에서는, 수신된 상기 GFDM 신호를 검파하는 시간에 대응하여 선택하고, 수신된 상기 GFDM 신호에 대응하는 GFDM 송신신호의 자기상관에 대해 평균을 산출할 수 있다.

[0011] 한편, 본 발명에 따른 GFDM 통신 방법 방법을 수행하기 위한 프로그램이 기록된 컴퓨터 판독 가능한 기록매체가 제공될 수 있다.

발명의 효과

[0012] 본 발명은 비동기식 통신에 있어서, 간섭으로 인한 영향을 줄일 수 있는 GFDM 통신 시스템, 방법 및 컴퓨터 판

독 가능한 기록매체를 제공할 수 있다.

도면의 간단한 설명

- [0013] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 GFDM 통신 시스템의 구성을 개략적으로 나타내는 도면이다.
- 도 2는 비동기 통신 데이터 블록을 예시적으로 나타내는 도면이다.
- 도 3은 본 발명의 일 실시예에 따른 GFDM 통신 방법을 개략적으로 나타내는 순서도이다.
- 도 4는 본 발명에 따른 GFDM 통신 방법의 성능을 설명하기 위한 도면이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0014] 본 발명의 이점 및 특징, 그리고 그것들을 달성하는 방법은 첨부되는 도면과 함께 상세하게 설명되는 실시예들을 참조하면 명확해질 것이다. 그러나 본 발명은 아래에서 제시되는 실시예들로 한정되는 것이 아니라, 서로 다른 다양한 형태로 구현될 수 있고, 본 발명의 사상 및 기술 범위에 포함되는 모든 변환, 균등물 내지 대체물을 포함하는 것으로 이해되어야 한다. 아래에 제시되는 실시예들은 본 발명의 개시가 완전하도록 하며, 본 발명이 속하는 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자에게 발명의 범주를 완전하게 알려주기 위해 제공되는 것이다. 본 발명을 설명함에 있어서 관련된 공지 기술에 대한 구체적인 설명이 본 발명의 요지를 흐릴 수 있다고 판단되는 경우, 그 상세한 설명을 생략한다.
- [0015] 본 출원에서 사용한 용어는 단지 특정한 실시예를 설명하기 위해 사용된 것으로, 본 발명을 한정하려는 의도가 아니다. 단수의 표현은 문맥상 명백하게 다르게 뜻하지 않는 한, 복수의 표현을 포함한다. 본 출원에서, "포함한다" 또는 "가지다" 등의 용어는 명세서상에 기재된 특징, 숫자, 단계, 동작, 구성요소, 부품 또는 이들을 조합한 것이 존재함을 지정하려는 것이지, 하나 또는 그 이상의 다른 특징들이나 숫자, 단계, 동작, 구성요소, 부품 또는 이들을 조합한 것들의 존재 또는 부가 가능성을 미리 배제하지 않는 것으로 이해되어야 한다. 제1, 제2 등의 용어는 다양한 구성요소들을 설명하는데 사용될 수 있지만, 구성요소들은 상기 용어들에 의해 한정되어서는 안 된다. 상기 용어들은 하나의 구성요소를 다른 구성요소로부터 구별하는 목적으로만 사용된다.
- [0016] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 GFDM 통신 시스템의 구성을 개략적으로 나타내는 도면이다.
- [0017] 도 1을 참조하면, 본 발명의 일 실시예에 따른 GFDM 통신 시스템(100)은, 수신부(110), 및 검파부(120)를 포함한다. GFDM은 Generalized Frequency Division Multiplexing을 의미하며, 비동기 방식을 채택하고 있다. 비동기 통신 방식은 지연시간을 줄이는데 효과를 제공할 수 있어 동기 통신 방식에 비해 장점을 갖지만, 인접한 주파수로부터 간섭이 발생하는 문제가 있다. 본 발명의 일 실시예에 따른 GFDM 통신 시스템(100)은 비동기 통신 방식의 장점을 취하는 동시에, 간섭 발생의 문제를 해결할 수 있는 방법을 제공하는 것을 목적으로 한다.
- [0018] 수신부(110)는 GFDM 신호를 수신하는데, 수신된 상기 GFDM 신호는 예시적으로 도 2와 같이 도시될 수 있다. 수신부(110)는 복수의 사용자가 송신하는 GFDM 신호를 수신하는 것으로 이해할 수 있고, 상기 복수의 사용자가 송신하는 복수의 GFDM 신호는 하나의 기지국에 의해 수신될 수 있다. 따라서, 수신부(110)는 수신 기지국을 의미하는 것으로 이해할 수 있다.
- [0019] 도 2에 도시되는 비동기 통신 데이터 블록은 아래에서부터 순차적으로 제0 사용자부터 제u 사용자가 송신하는 GFDM 신호를 예시적으로 나타낸다. 한편, 도 2에서 가로축은 시간을 나타내고 세로축은 주파수를 나타내며, $d_{a,b}$ 는 a 번째 사용자의 b 번째 데이터를 나타낸다.
- [0020] 한편, 본 발명에서 GFDM 변조 행렬은 다음의 수식으로 표현될 수 있다.

수학적 식 1

$$A = (g_{0,0}, \dots, g_{K-1,0}, g_{0,1}, \dots, g_{K-1,M-1})$$

- [0022] 여기서 g는 주파수 축에서 RC(Raised Cosine)을 순환하도록 이동시킨 그래프를 의미하며, 다음의 수식으로 표현될 수 있다.

수학식 2

$$g_{k,m}[n]=g[(n-mK)\bmod N]e^{-j2\pi\frac{k}{K}n}$$

여기서 M은 총 sub-symbol을 나타내고, K는 총 부반송파(sub_carrier)를, N은 샘플링 숫자를 나타낸다.

또한, 전체 사용자의 집합을 U라고 할 때, 도 2의 한 유저의 총 데이터는 다음과 같이 표현될 수 있다.

수학식 3

$$d_u=\begin{pmatrix} d_{u,-1} \\ d_{u,0} \\ d_{u,1} \end{pmatrix}, u\in U$$

도 2에 도시되는 바와 같이, (-1, 0, 1)은 각각 0 번째 데이터를 기준으로 했을 때 직전의 데이터와 직후의 데이터를 의미한다. 이상 설명한 수식들을 이용하여 한 사용자가 전송하는 신호는 다음의 수식으로 표현될 수 있다.

수학식 4

$$x_u=(I_3\otimes CA_u)d_u$$

여기서 I_3 는 3 x 3 단위행렬이고, $\otimes$ 는 크로네커 곱으로 행렬 CA_u 의 행과 열을 3배만큼 늘린 사이즈의 행렬 행렬 CA_u 를 대각선을 기준으로 배치해주는 역할을 한다. 또한, C는 $(N + N_{CP}) \times N$ 사이즈의 CP(cyclic prefix)를 생성하는 행렬을 의미한다.

한편, 행렬 A_u 는 주파수 축에서 u 번째 캐리어를 사용하는 사용자의 GFDM 변조 행렬로, 총 K 개의 부반송파 중 u 번째 반송파(carrier)에 속하는 부반송파들로 이루어진 행렬을 의미한다. 즉, 행렬 A에서 u 번째 캐리어에 속하는 부반송파에 관한 열들로 이루어진다.

다시, 수학식 4로 돌아가면, x_u 는 $CA_ud_{u,-1}$, $CA_ud_{u,0}$, $CA_ud_{u,1}$ 세 신호를 세로로 붙인 형태가 되고, 각 행은 시간을 나타내므로 시간축에서 세 신호가 연속적으로 송신되는 것을 나타내는 것으로 이해할 수 있다.

도 2에서 CP(cyclic prefix)는 주기적 전치 부호로 신호간 간섭을 방지하기 위해 비우는 구간인 가드 인터벌 구간에 신호가 없으면 직교성이 깨지는 문제를 방지하기 위해 보내는 신호로서 원본 신호의 마지막부터 일부를 복사하여 앞 부분에 붙이는 신호를 의미한다.

상기 행렬 C가 $(N + N_{CP}) \times N$ 의 크기를 갖는 것은, 원본 신호가 N 개의 열을 갖고 있고, 각각의 열이 변복조 웨이브이며, 각 행이 시간을 나타낼 때 행렬 C는 각 열의 뒷부분 행에서 N_{CP} 개 만큼을 복사하여 첫 행의 앞부분에 붙여주는 기능을 수행하기 때문이다.

한편, 수신부(110)에서 수신되는 상기 GFDM 신호는 다음과 같이 표현될 수 있다.

수학식 5

$$\hat{y}_\alpha=\widetilde{H}_\alpha A_\alpha d_{\alpha,0}+\sum_{u\neq\alpha}i_\alpha+n$$

$$i_u = S_{I_u} H_u (I_3 \otimes C A_u) d_u$$

[0036]

여기서 l_u 는 0 번째 사용자의 신호를 검파할 때의 사용자 u 사이의 시간 차이를 의미한다. $\tilde{H}_\alpha$ 는 $N \times N$ 크기의 순환하는 행렬(Circulant-matrix)이고, H_u 는 $(3(N + N_{CP}) + L - 1) \times 3(N + N_{CP})$ 크기의 채널을 나타내는 Toeplitz 행렬, n 은 평균 0, 분산 σ_n^2 를 갖는 노이즈 벡터를 의미한다.

[0037]

한편, 상기 수학식 5에서 $\hat{y}_\alpha$ 는 α 번째 사용자의 동기시간에 수신되는 신호를 의미하는 것으로 이해할 수 있다.

[0038]

채널은 다중 경로(multi path)를 갖기 때문에 행렬로 나타낼 때 대각선 행렬이 아닌 Toeplitz 행렬로 모델링될 수 있다. Toeplitz 행렬은 각각의 대각선 상의 모든 요소들이 같은 값을 갖는 행렬로 다중 경로로 인해 시간 차이를 두고 수신되는 같은 신호들을 나타낼 때 사용된다.

[0039]

다중 경로의 신호가 수신되는 시간이 총 L 이고, 첫 번째 경로의 신호가 들어올 때부터 채널 행렬을 설계할 경우, 모든 신호가 수신되기 위해서는 신호의 길이 $3(N + N_{CP})$ (첫 번째 경로의 신호가 다 통과되는데 필요한 시간)에 $L-1$ 개의 다중 경로로 인한 신호들이 모두 통과하는 시간을 더한 만큼의 시간이 필요하다.

[0040]

$\tilde{H}_\alpha$ 는 동기가 일치할 때의 채널로 뒤 부분의 신호를 앞 부분에 붙여서 만든 CP를 포함하기 때문에 Toeplitz 행렬이 아닌 순환 행렬의 형태로 표현된다. 순환 행렬은 각 행과 열에서 요소들이 한 칸씩 오른쪽이나(행 기준), 아래쪽으로(열 기준) 이동하는 행렬로, 통신에서 CP를 붙인 신호가 채널을 통과하였을 때 원래 신호의 길이만큼을 도 2의 제0 사용자와 같이 잘라주면 신호의 뒷부분이 앞에서도 나오기 때문에 Toeplitz 행렬의 다중 경로로 인한 늘어난 부분을 앞부분의 신호로 대체할 수 있다. 따라서, 순환 행렬 $\tilde{H}_\alpha$ 는 $N \times N$ 크기의 정방 행렬로 표현될 수 있다.

[0041]

한편, 상기 수학식 5에서 S_{I_u} 는 연속된 데이터로 만들어진 신호를 검파하는 시간에 맞춰 잘라주는 행렬이고, 다음과 같이 표현될 수 있다.

[0042]

수학식 6

$$S_{I_u} = (0_{N \times l_u}, I_N, 0_{N \times (3(N+N_{CP})+L-1-N-l_u)})$$

[0043]

도 2를 참조하면, 제0 사용자에게 동기가 맞춰져 있고, 나머지 사용자는 연속된 신호에서 l_u 지난 시간부터 N 개 만큼 (N 시간 만큼) 잘려진 신호가 수신된다. 이때, S_{I_u} 는 l_u 개만큼의 신호를 $0_{N \times l_u}$ 를 이용하여 없애고, I_N 을 통해 N 개의 신호를 통과시킨 후, $0_{N \times (3(N+N_{CP})+L-1-N-l_u)}$ 를 통해 나머지 신호를 제어하는 역할을 한다. 이때, 채널과 마찬가지로 각 열이 시간을 나타내며, I_N 은 $N \times N$ 크기의 단위 행렬을 나타낸다.

[0044]

상기 수학식 6과 같이 표현되는 행렬은 검파부(120)에 포함되는 MMSE 필터 설계에 사용되는데, 상기 MMSE 필터는 Minimum Mean Square Error를 지칭하며, 본 발명에서는 서로 다른 사용자들이 만들어내는 신호 간의 동기 시간의 차이에 대해 평균을 취하는 위해 사용된다. 한편, 일 실시예에서, 검파부(120)는 검파하고자 하는 사용자를 선택한 후 해당 사용자에게 적절한 MMSE 필터 값을 적용할 수 있다.

[0045]

상기 MMSE 필터 또는 MMSE 수신기는 상기 수학식 5를 통해 표현되는 수신된 신호 $\hat{y}_\alpha$ 에 특정한 행렬 W 를 곱하여 간섭과 노이즈를 최소화할 수 있다. 상기 행렬 W 를 구하기 위해서는 수신된 신호의 자기상관, 데이터와 수신된 신호의 상호상관이 필요하고, 데이터가 비상관일 때 그 변수들은 다음과 같이 표현될 수 있다.

[0046]

수학식 7

$$E[\hat{\mathbf{y}}_{\alpha} \hat{\mathbf{y}}_{\alpha}^H] = \tilde{\mathbf{H}}_{\alpha} \mathbf{A}_{\alpha} \mathbf{A}_{\alpha}^H \tilde{\mathbf{H}}_{\alpha}^H + \sum_{u \neq \alpha} R_{i_u} + \sigma_n^2 \mathbf{I}_N$$

$$R_{i_u} = S_{l_u} H_u (I_3 \otimes C A_u A_u^H C^H) H_u^H S_{l_u}^H = S_{l_u} H_u R_{x_u} H_u^H S_{l_u}^H$$

$$R_{x_u} = E[\mathbf{x}_u \mathbf{x}_u^H]$$

여기서 행렬 $\mathbf{A}_{\alpha}$ 및 행렬 $\mathbf{A}_u$ 는 각각 α 번째 사용자와 u 번째 사용자에 대응하는 GFDM 변조 행렬을 나타낸다.

수학식 7에서 자기상관은 α 번째 사용자가 수신한 신호에 다른 사용자(u 번째 사용자)에 의해 수신되는 간섭 신호의 영향이 동시에 존재하는 것으로 이해할 수 있다. 한편, 수신된 신호의 자기상관 $E[\hat{\mathbf{y}}_{\alpha} \hat{\mathbf{y}}_{\alpha}^H]$ 이 상기 수학식 7과 같이 표현되는 것은, 데이터가 서로 비상관(uncorrelated)이기 때문에 간섭 신호 사이의 곱에서 노이즈와 데이터는 서로 독립이므로 평균을 취했을 때 0이 되어 노이즈와 신호 및 간섭의 곱의 평균들은 소거된다. 또한, 동기가 맞는 사용자와 간섭 사용자는 다른 사용자인기 때문에 동기신호와 간섭신호의 곱의 평균은 항상 0이 된다. 한편, $\mathbf{R}_{i_u}$ 는 수신된 신호에서 간섭신호의 자기상관을 나타낸다.

이때, $\mathbf{S}_{l_u}$ 는 동기 시간에 대한 정보를 포함하고 있기 때문에, $\mathbf{R}_{i_u}$ 를 동기 시간 차이 l_u 에 대해 평균을 취하면 다음과 같이 표현될 수 있다.

수학식 8

$$R_{i_u} = \sum_{l=N_{cp}}^{N+N_{cp}} S_{l_u} H_u R_{x_u} H_u^H S_{l_u}^H \frac{1}{N}$$

모든 사용자에 대하여 동기의 어긋남 정도를 정확하게 판단할 수 있는 경우에는 상기 수학식 8과 같이 전체 신호에 대한 평균을 취하지 않더라도 MMSE 필터 또는 MMSES 수신기를 사용할 수 있다. 그러나, 일반적으로 비동기식 통신에서는 모든 사용자에 대하여 동기의 어긋남 정도를 정확하게 판단하는 것이 용이하지 않고, 이에 본 발명은 상기 수학식 8과 같이 동기의 어긋남에 대해 평균을 취하는 방법을 사용한다.

또한, 데이터와 수신된 신호의 상호상관은 다음과 같이 표현될 수 있다.

수학식 9

$$E[d_{\alpha,0} \hat{\mathbf{y}}_{\alpha}^H] = \mathbf{A}_{\alpha}^H \tilde{\mathbf{H}}_{\alpha}^H$$

동기가 맞는 사용자 α 와 간섭 사용자는 서로 다른 사용자인기 때문에 데이터의 비상관으로 인해 평균에서 간섭 항들이 모두 사라지고, 데이터와 노이즈의 독립성으로 인해 평균에서 노이즈의 항들도 사라진다. 따라서, 동기 신호에 해당하는 부분만 남고, 데이터의 곱은 단위행렬이 되어 에르미트(Hermitian) 행렬로 인해 상기 수학식 9와 같이 상호상관이 표현될 수 있다.

결과적으로 상기 MMSE 필터에 해당하는 $\mathbb{W}$ 는 다음과 같이 표현될 수 있다.

수학식 10

$$W = E[d_{\alpha,0} \hat{y}_{\alpha}^H] E[\hat{y}_{\alpha} \hat{y}_{\alpha}^H]^{-1}$$

[0059]

[0060]

즉, 본 발명의 일 실시예에 따른 MMSE 필터는 수신된 상기 GFDm 신호에 대한 간섭신호의 자기상관의 평균, 및 수신된 상기 GFDm 신호에 대한 상호상관의 곱으로 정의되는 것으로 이해할 수 있다.

[0061]

한편, 검파부(120)는 상기 수학식 10으로 표현되는 MMSE 필터에 상기 수학식 5를 참조로 설명한 신호 $\hat{y}_{\alpha}$ 를 적용하여 GFDm 신호를 검파한다.

[0062]

도 3은 본 발명의 일 실시예에 따른 GFDm 통신 방법을 개략적으로 나타내는 순서도이다.

[0063]

도 3을 참조하면, 본 발명의 일 실시예에 따른 GFDm 통신 방법은, 신호 수신 단계(S110), MMSE 필터 설계 단계(S120) 및 검파 단계(S130)를 포함한다.

[0064]

신호 수신 단계(S110)에서는, GFDm 신호를 수신하고, 수신되는 상기 GFDm 신호는 도 2를 참조로 하여 설명한 예시를 통해 이해될 수 있다. 신호 수신 단계(S110)에서는, 복수의 사용자가 송신하는 GFDm 신호를 수신하는 것으로 이해할 수 있고, 상기 복수의 사용자가 송신하는 복수의 GFDm 신호는 하나의 기지국에서 수신될 수 있다. 또한, 신호 수신 단계(S110)에서 수신되는 상기 GFDm 신호는 수학식 5를 참조로 하여 설명한 $\hat{y}_{\alpha}$ 로 표현될 수 있다.

[0065]

MMSE 필터 설계 단계(S120)에서는, 수신된 상기 GFDm 신호, 이와 인접한 GFDm 신호 사이의 동기 시간 차이에 대한 평균이 적용된 MMSE 필터를 설계한다. 상기 MMSE 필터는 동기 시간에 대한 정보를 포함하고 있는 행렬 S_u 를 이용하며, 상기 신호 수신 단계(S110)에서 수신된 신호에서 간섭신호의 자기상관을 나타내는 R_{iu} 를 동기 시간 차이 l_u 에 대해 평균을 취한 상기 수학식 8을 이용한다.

[0066]

검파 단계(S130)에서는 수신된 상기 GFDm 신호에 상기 MMSE 필터를 적용하여 상기 GFDm 신호를 검파한다. 상기 MMSE 필터는 수신된 신호의 자기상관과 상호상관의 곱으로 표현될 수 있는데, 앞서 수학식 7, 수학식 9 및 수학식 10을 참조로 하여 설명한 바와 같다. 따라서, 검파 단계(S130)에서는 수신된 GFDm 신호 $\hat{y}_{\alpha}$ 에 상기 자기상관과 상호상관의 곱인 W 를 적용함으로써 상기 GFDm 신호를 검파할 수 있다.

[0067]

한편, 앞서 설명한 바와 같이, 상기 MMSE 필터는 검파하고자 하는 사용자 각각에 대하여 서로 다른 값으로 설계될 수 있으며, 따라서 상기 W 값 또한 검파하고자 하는 사용자에게 따라 서로 다른 값을 갖는 것으로 이해할 수 있다.

[0068]

도 4는 본 발명에 따른 GFDm 통신 방법의 성능을 설명하기 위한 도면이다. 도 4의 그래프에서 가로축은 검파하고자 하는 사용자와 간섭 사용자 사이의 SNR 차이를 나타내고, 세로축은 Data rate 를 나타낸다. 한편, 도 4에 도시되는 각각의 곡선은 본 발명에 따른 MMSE 필터를 적용한 결과, GFDm 신호에 ZF 필터를 적용한 결과, 그리고 OFDM(동기식) 신호에 ZF 필터를 적용한 결과를 나타낸다.

[0069]

한편, 도 4에 도시되는 결과는 원하는 사용자의 SNR 은 30db 로 고정되어 있고, 간섭 사용자의 SNR 은 0부터 50 까지 변화시켰다. 간섭이 없을 때, 즉 동기가 맞을 때에는 OFDM ZF 방법의 성능이 가장 좋지만, 간섭이 조금만 증가해도 본 발명에 따른 방법에 비해 낮은 성능을 보이고, 간섭이 일정 수준 이상으로 존재하는 경우에는 GFDm ZF 보다 낮은 성능을 보이는 것을 확인할 수 있다.

[0070]

즉, 본 발명에 따른 GFDm 통신 방법은 Data rate 감소 폭이 OFDM ZF에 비해 월등하며, 전체적인 성능에 있어서도 3가지 방법 중 가장 우수한 것을 확인할 수 있다.

[0071]

한편, 본 발명은 컴퓨터로 읽을 수 있는 기록 매체에 컴퓨터가 읽을 수 있는 코드로 구현하는 것이 가능하다. 컴퓨터가 읽을 수 있는 기록 매체는 컴퓨터 시스템에 의하여 읽혀질 수 있는 데이터가 저장되는 모든 종류의 기록 장치를 포함한다. 컴퓨터가 읽을 수 있는 기록 매체의 예로는 ROM, RAM, CD-ROM, 자기 테이프, 플로피디스크, 광 데이터 저장 장치 등이 있다.

[0072]

또한, 컴퓨터가 읽을 수 있는 기록 매체는 네트워크로 연결된 컴퓨터 시스템에 분산되어, 분산 방식으로 컴퓨터

가 읽을 수 있는 코드가 저장되고 실행될 수 있다. 그리고 본 발명을 구현하기 위한 기능적인(functional) 프로그램, 코드 및 코드 세그먼트들은 본 발명이 속하는 기술 분야의 프로그래머들에 의하여 용이하게 추론될 수 있다.

[0073] 본 발명에서 모든 예들 또는 예시적인 용어(예를 들어, 등등)의 사용은 단순히 본 발명을 상세히 설명하기 위한 것으로서 특허청구범위에 의해 한정되지 않는 이상 상기 예들 또는 예시적인 용어로 인해 본 발명의 범위가 한정되는 것은 아니다. 또한 해당 기술 분야의 통상의 기술자는 다양한 수정, 조합 및 변경이 부가된 특허청구범위 또는 그 균등물의 범주 내에서 설계 조건 및 팩터(factor)에 따라 구성될 수 있음을 알 수 있다.

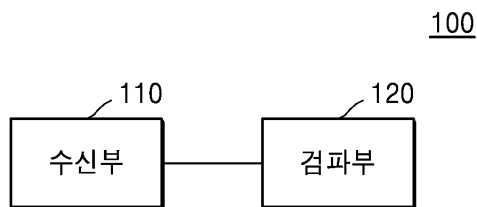
[0074] 따라서, 본 발명의 사상은 상기 설명된 실시예에 국한되어 정해져서는 아니되며, 후술하는 특허청구범위뿐만 아니라, 이 특허청구범위와 균등한 또는 이로부터 등가적으로 변경된 모든 범위는 본 발명의 사상의 범주에 속한다고 할 것이다.

부호의 설명

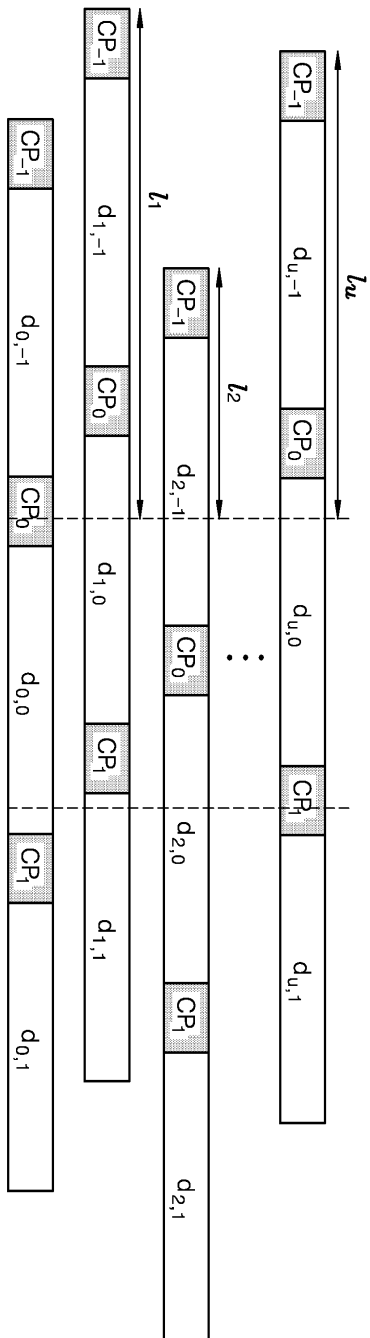
[0075] 100: GFDM 통신 시스템 110: 수신부
120: 필터링부 130: 검파부

도면

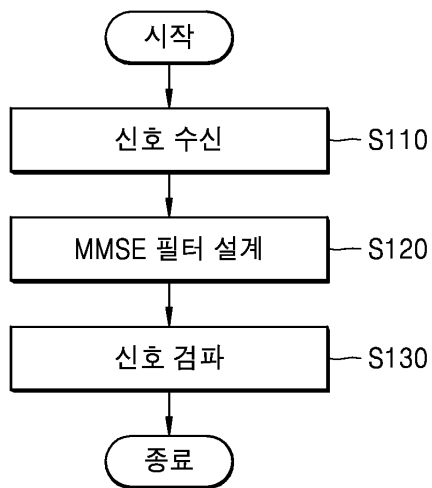
도면1



도면2



도면3



도면4

